

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.3.004.5

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-5-47-52>**Интенсификация процесса очистки деталей погружением в моющий раствор****В.М. Корнеев^{1✉}, Д.И. Петровский², Н.В. Корнеев³**^{1,2} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия³ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; г. Москва, Россия¹ tsmo@rgau-msha.ru² petrovsky@rgau-msha.ru³ swy16@mail.ru

Аннотация. Качество очистки металлических деталей от загрязнений зависит от физико-химических свойств моющей среды и интенсивности механического воздействия жидкости на очищаемые поверхности. Интенсификация процесса очистки деталей возможна при создании неустановившегося режима движения моющей жидкости, характеризующегося изменением давления и скорости жидкости во времени и в каждой рассматриваемой точке очищаемой поверхности. С целью подтверждения теоретического положения о зависимости эффективности очистки от скорости потока моющей жидкости проведен эксперимент, в котором использовалась комбинированная погружная моечная машина, характеризующаяся сочетанием двух гидромеханических способов интенсификации процесса очистки. Перемещение деталей в ванне осуществлялось посредством колебания платформы. Турбулентный поток моющей жидкости относительно объекта очистки обеспечивался лопастным винтом. В качестве объекта очистки использовались шатуны двигателей внутреннего сгорания, имеющие на поверхностях трудно удаляемые асфальтосмолистые загрязнения. Исследование процесса очистки проводилось в водном растворе моющего средства Темп-100Д концентрацией 20 г/л при температуре 65...70°C. Продолжительность очистки составляла 15 мин. Качество очистки деталей от загрязнений контролировалось по смачиваемости очищенной поверхности водой. Исследованиями установлено, что интенсивность очистки, характеризуемая скоростью потока жидкости, необходимой для отрыва частиц загрязнений, зависит от частоты колебаний платформы с деталями. Увеличение частоты колебаний от 0,25 до 1,0 Гц приводит к повышению скорости потока моющего раствора в 3 раза, что обеспечивает интенсивное удаление загрязнений с одновременным повышением качества очистки. При увеличении частоты колебаний от 0 до 1,0 Гц эффективность очистки повышается в 2,5 раза. Теоретическое положение о зависимости эффективности очистки от скорости потока моющей жидкости подтверждено.

Ключевые слова: интенсификация процесса очистки деталей, загрязнения, качество очистки, эффективность очистки, скорость потока жидкости, турбулентный поток моющей жидкости, погружная моечная машина

Для цитирования: Корнеев В.М., Петровский Д.И., Корнеев Н.В. Интенсификация процесса очистки деталей погружением в моющий раствор // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 5. С. 47-52. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-5-47-52>

ORIGINAL ARTICLE

Intensified cleaning of parts immersed in a detergent solution**V.M. Korneev^{1✉}, D.I. Petrovsky², N.V. Korneev³**^{1,2} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia³ Federal Scientific Agroengineering Centre IM; Moscow, Russia¹ tsmo@rgau-msha.ru² petrovsky@rgau-msha.ru³ swy16@mail.ru

Abstract. The quality of cleaning metal parts from contaminants depends on the physical and chemical properties of the washing medium and the intensity of the mechanical impact of the liquid on the surfaces subject to cleaning. Intensified cleaning of the parts is possible when there is an unsteady mode of a washing liquid flow, characterized by change of pressure and speed of a liquid in time and in each considered point of a surface subject to cleaning. In order to confirm the theoretical statement about the dependence of cleaning efficiency on the speed

of the washing liquid flow, the authors made an experiment. They took a combined submerged washing machine using a combination of two hydromechanical methods of cleaning intensification. The parts subject to cleaning moved in the bath by means of the platform vibration. A helical blower provided the turbulent flow of the washing liquid relative to the object subject to cleaning. The authors used connecting rods of internal combustion engines as the objects to be cleaned. Their surfaces contained asphalt-resin contaminants, which were hard to remove. The cleaning process was studied in the aqueous solution of detergent Temp-100D with a concentration of 20 g/l at a temperature of 65 to 70°C. The cleaning lasted for 15 min. The quality of cleaning from contaminants was controlled by wettability of the cleaned surface with water. It was found that the intensity of cleaning, characterized by the liquid flow rate necessary for the detachment of dirt particles, depends on the vibration frequency of the platform holding the cleaned parts. Increasing the vibration frequency from 0.25 to 1.0 Hz leads to a three-fold increase in the flow rate of the cleaning solution, which provides an intensive removal of contaminants while increasing the quality of cleaning. When increasing the vibration frequency from 0 to 1.0 Hz, the cleaning efficiency increases in 2.5 times. The study results confirmed the theoretical supposition of the relationship between the cleaning efficiency and the washing liquid flow rate.

Keywords: intensified cleaning of parts, contamination, cleaning quality, cleaning efficiency, liquid flow rate, turbulent flow of the washing liquid, submerged washing machine

For citation: Korneev V.M., Petrovsky D.I., Korneev N.V. Intensified cleaning of parts immersed in a detergent solution. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2024;26(5):47-52. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-5-47-52>

Введение

Очистка поверхностей деталей сельскохозяйственных машин является начальным этапом ремонтно-обслуживающих воздействий. Необходимость очистки обусловлена наличием на поверхностях деталей загрязнений, разнообразных по составу, свойствам, толщине и прочности сцепления. Исследованиями установлено, что качественная очистка рабочих поверхностей деталей от эксплуатационных и технологических загрязнений предотвращает преждевременное изнашивание ответственных деталей, увеличивает срок безотказной работы сборочных агрегатов и обеспечивает значительный экономический эффект^{1,2,3,4}.

¹ Корнеев В.М., Кравченко И.Н., Петровский Д.И. и др. Технологическая подготовка предприятий технического сервиса. М.: ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2019. 244 с. (Высшее образование: Бакалавриат). https://doi.org/10.12737/textbook_5c10d4f2041e91.56370235.

² Корнеев В.М., Кравченко И.Н., Новиков В.С. и др. Технология ремонта машин: Учебник для студентов, обучающихся по направлению подготовки 35.03.06 «Агроинженерия» М.: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2019. 266 с. EDN: GRGJOO.

³ Юдин В.М. Применение современных ресурсосберегающих технологий очистки машин и оборудования в сельском хозяйстве: Практические рекомендации. М.: Информагро, 1998. 48 с. EDN: VDNOQR.

⁴ Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024621195. Российская Федерация. Ресурсосберегающая технология струйной гидродинамической очистки наружных поверхностей автотракторной техники: № 2024620813. Заяв. 11.03.2024; Опубл. 19.03.2024 / И.Н. Кравченко, В.М. Корнеев, А.В. Корнеев и др. EDN: HНQXAH.

Очистка является весьма трудоемким процессом. При выполнении технологических операций очистки на нагрев моющих растворов расходуется до 13% энергетических ресурсов общего расхода сервисного предприятия. В системе технического сервиса агропромышленного комплекса установленная мощность электродвигателей моечного оборудования составляет 20% от общей установленной мощности ремонтно-обслуживающих предприятий. Ежегодно на операцию очистки расходуется до 20 тыс. т моющих средств. В связи с этим ищутся способы уменьшения энергоемкости процесса очистки⁵.

Для очистки деталей ремонтируемых машин широко используется погружная моечная машина. Эффективность очистки деталей в этих машинах определяется физико-химическими характеристиками синтетических моющих средств (состав, концентрация, температура) и характером взаимодействия моющей среды с очищаемой поверхностью (степень возбуждения моющей жидкости и характер ее движения относительно частиц загрязнения) [1-3].

При очистке металлических поверхностей деталей в моечных машинах погружного типа в качестве механического воздействия применяются возбуждение моющей жидкости вокруг объекта очистки (статические активаторы), перемещение деталей в моющем растворе (динамические активаторы), механическое перемешивание раствора вокруг перемещающихся деталей (комбинированные активаторы).

⁵ Козлов Ю.С., Кузнецов О.К., Тельнов А.Ф. Очистка изделий в машиностроении: монография. М.: Машиностроение, 1982. 261 с.

Очевидно, что отрыв частиц от поверхности детали возможен при умеренной средней скорости моющего раствора и искусственном возмущении, вызванным путем колебания давления или скорости потока жидкости. Таким образом, при погружном способе для качественной очистки деталей сложной конфигурации и интенсификации процесса необходимо относительно очищаемых поверхностей создавать под высоким давлением многонаправленные турбулентные потоки моющей жидкости [4].

Результаты анализа практического опыта показывают, что часто специалисты ремонтно-обслуживающих предприятий, стремясь повысить эффективность погружной очистки, занимаются совершенствованием имеющегося моечного оборудования и созданием новых конструкций на основе известного производственного опыта и собственной интуиции. Без научно обоснованного критерия оценки уровня воздействия моющей среды на очищаемую поверхность, без исследований энергоемкости различных способов интенсификации гидромеханической очистки такие попытки приводят к значительным затратам и не обеспечивают достижения поставленной цели⁶ [5].

Таким образом, изыскание и исследование гидромеханических способов повышения эффективности очистки деталей является актуальным научным направлением интенсификации процессов отрыва загрязнений от очищаемых поверхностей [6-8].

Цель исследований: повышение эффективности удаления загрязнений с очищаемых поверхностей деталей путем интенсификации процесса очистки за счет увеличения силы гидродинамического воздействия моющего раствора на частицы загрязнений; подтверждение теоретического положения о зависимости эффективности очистки от скорости потока моющей жидкости.

Материалы и методы

Теоретические исследования базировались на законах гидромеханики о движении жидкости и процессах ее взаимодействия с твердым телом⁷.

Для изучения влияния характера движения моющей жидкости и амплитудно-частотных характеристик потока на эффективность очистки деталей использовалась погружная моечная машина,

реализующая комбинированный способ интенсификации процесса.

В экспериментальной установке вблизи очищаемых поверхностей деталей обеспечивается турбулентный поток моющей жидкости за счет вращения винтового активатора, а реализация требуемого характера колебаний жидкости осуществляется путем прямолинейного возвратно-поступательного перемещения контейнера с очищаемыми деталями (рис. 1).

Измерение скорости течения водного раствора синтетического моющего средства производилось прибором ИСП-1 совместно с регистратором ПСВ-1. Контроль амплитудно-частотных характеристик потока жидкости осуществлялся пьезоэлектрическим акселерометром RION TECHNOLOGY AKE3948-40.

Для измерения скорости потока использовался погружной датчик скорости, закрепляемый на гидрометрической штанге. Интенсивность колебательных процессов фиксировалась датчиками переменного давления, закрепленными в трех точках платформы, равноудаленных друг от друга.

В качестве объекта очистки использовались шатуны двигателей внутреннего сгорания, имеющие на поверхностях трудноудаляемые асфальтосмолистые загрязнения.

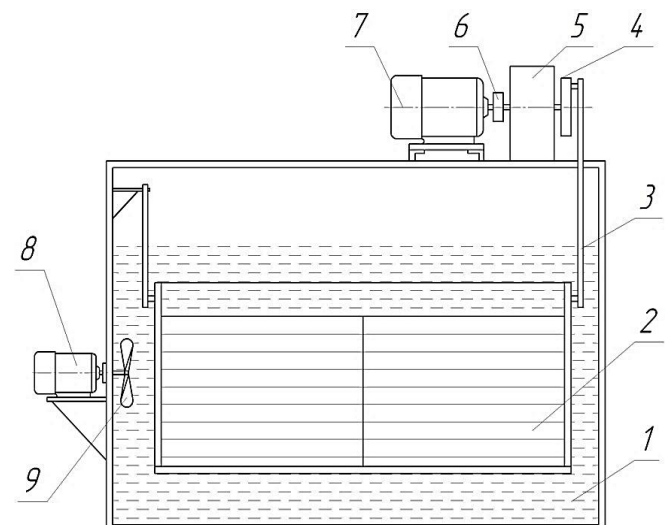


Рис. 1. Кинематическая схема экспериментальной установки:

- 1 – моечная камера;
- 2 – платформа с корзинами для деталей;
- 3 – шатун привода платформы; 4 – кривошип;
- 5 – редуктор; 6 – соединительная муфта;
- 7, 8 – электродвигатели;
- 9 – ротор-активатор (лопастной винт)

Fig. 1. Kinematic scheme of the experimental installation:

- 1 – washing chamber;
- 2 – platform with baskets for parts;
- 3 – connecting rod of the platform drive; 4 – crank;
- 5 – reduction gear; 6 – coupling; 7, 8 – electric motors;
- 9 – rotor-activator (helical blower)

⁶Фадеев И.В., Успенский И.А., Юхин И.А., Шемякин А.В. Совершенствование технологии мойки деталей при ремонте машин: монография. Чебоксары: Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева, 2020. 343 с. EDN: NRCSJQ.

⁷Моргунов К.П. Гидравлика: учебник для СПО. 3-е изд., стер. СПб.: Лань, 2023. 280 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/284033> (дата обращения: 01.04.2024).

Исследование процесса очистки проводилось в водном растворе моющего средства Темп-100Д при следующих технологических режимах: концентрация моющего средства в растворе – 20 г/л; температура моющего раствора – 65...70°C, продолжительность очистки – 15 мин.

При экспериментальном исследовании эффективности очистки турбулентным потоком жидкости определялось влияние интенсивности колебательных процессов на скорость потока моющей жидкости и эффективность удаления загрязнений в зависимости от величин частоты колебаний давления и средней скорости потока.

Уровень варьирования фактора для частоты колебаний платформы составил 25%, границы варьирования частоты колебаний платформы – от 0 до 1 Гц.

Контроль качества очистки проводился по смачиваемости поверхности объекта исследования водой:

$$K = \frac{S_{\text{очист}}}{S_{\text{общ}}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где $S_{\text{очист}}$ – площадь поверхности, покрытой непрерывной пленкой воды, см²; $S_{\text{общ}}$ – общая площадь поверхности объекта очистки, см².

Контроль качества очистки способом смачивания водой основан на способности очищенной поверхности удерживать непрерывную пленку воды, если эта поверхность свободна от загрязнений. Совершенно чистая поверхность полностью смачивается неразрывной в течение 5 с пленкой воды. Загрязненная поверхность не смачивается водой, пленка воды сразу разрывается и лишь частично покрывает поверхность детали. Показатель качества очистки определяется визуально по выделенной площади смачиваемости очищенной поверхности детали водой. Для смачивания применяют холодную дистиллированную воду, которая наносится на поверхность детали методом погружения.

Результаты и их обсуждение

Повышению производительности и качества погружной очистки способствует гидродинамическая активация моющего раствора. Колебания платформы с деталями и активация моющего раствора лопастным винтом приводят к образованию турбулентного потока жидкости, для которого характерно наличие поперечных (по отношению к основному направлению движения) пульсационных скоростей жидкости, являющихся следствием переноса конечных масс моющей жидкости.

Наличие в турбулентном потоке пульсационных скоростей жидкости способствует отрыву частиц загрязнений от очищаемой поверхности и их

транспортированию из зоны очистки. Таким образом, повысить эффективность очистки можно, если искусственно турбулизовать поток моющей жидкости.

При исследовании эффективности очистки возникла необходимость в изучении процесса отрыва загрязнений от очищаемой поверхности.

Теоретически установлено, что твердые частицы загрязнений, лежащие на очищаемой поверхности, испытывают со стороны потока водного раствора синтетического моющего средства силовое воздействие, причиной которого является сила лобового сопротивления частицы $P_{\text{лоб}}$. Под действием силы $P_{\text{лоб}}$ происходит процесс отрыва частиц загрязнений от очищаемой поверхности.

Реализация процесса очистки при механическом воздействии жидкости на загрязнения возможна при условии, если сила гидродинамического воздействия превысит прочностные свойства загрязнений (адгезионно-когезионной характеристики загрязнений, зависящей от прочности загрязнений на сжатие, растяжение, сдвиг и адгезию к поверхности):

$$P_{\text{лоб}} > P_{\text{адк}}, \quad (2)$$

где $P_{\text{адк}}$ – адгезионно-когезионная сила, Н.

Величину силы лобового сопротивления частицы загрязнения можно определить по формуле Н.Е. Жуковского:

$$P_{\text{лоб}} = 0,2 \cdot \pi \cdot d_{\text{ч}}^2 \cdot \rho \cdot V^2, \quad (3)$$

где $d_{\text{ч}}$ – диаметр частицы загрязнения, м; ρ – плотность моющей жидкости, кг/м³; V – скорость потока моющей жидкости относительно загрязненной поверхности, м/с.

Из формулы (3) следует, что определяющим фактором отрыва загрязнений от очищаемой поверхности является скорость турбулентного потока моющего раствора. Следовательно, правомерность формулы (3), описывающей кинетику процесса очистки деталей потоком жидкости, целесообразно подтвердить экспериментальным путем.

При проведении эксперимента была выявлена зависимость величины средней скорости потока жидкости U внутри контейнера от величины частоты колебаний f контейнера с очищаемыми деталями (рис. 2).

Установлено, что с увеличением частоты колебаний контейнера от 0,25 до 1,0 Гц средняя скорость потока жидкости, необходимая для отрыва частиц загрязнений, возрастает в 3 раза. Это объясняется образованием касательных напряжений трения на очищаемых поверхностях при воздействии на них колебаний давления моющей жидкости.

Результаты исследования влияния амплитудно-частотных характеристик потока жидкости на качество очистки (рис. 3) показали, что чем выше частота колебаний контейнера с деталями и, соответственно, скорость потока моющего раствора, тем меньше остаточная загрязненность очищаемых поверхностей, то есть качество очистки повышается. При этом снижается интенсивность уменьшения остаточной загрязненности, особенно

при частоте колебаний более 0,3 Гц, что свидетельствует о высокой эффективности гидродинамического фактора воздействия моющего раствора на частицы загрязнений.

Таким образом, в процессе исследований подтверждено теоретическое положение Н.Е. Жуковского о зависимости эффективности очистки от скорости потока моющей жидкости, то есть степени ее турбулизации.

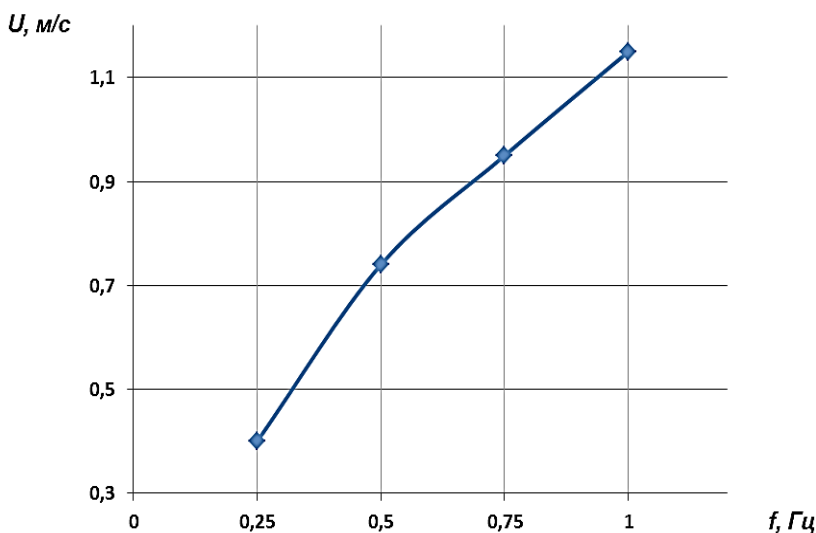


Рис. 2. Скорость потока жидкости в зависимости от величины частоты колебаний контейнера с деталями

Fig. 2. Fluid flow rate depending on the vibration frequency of the container with parts

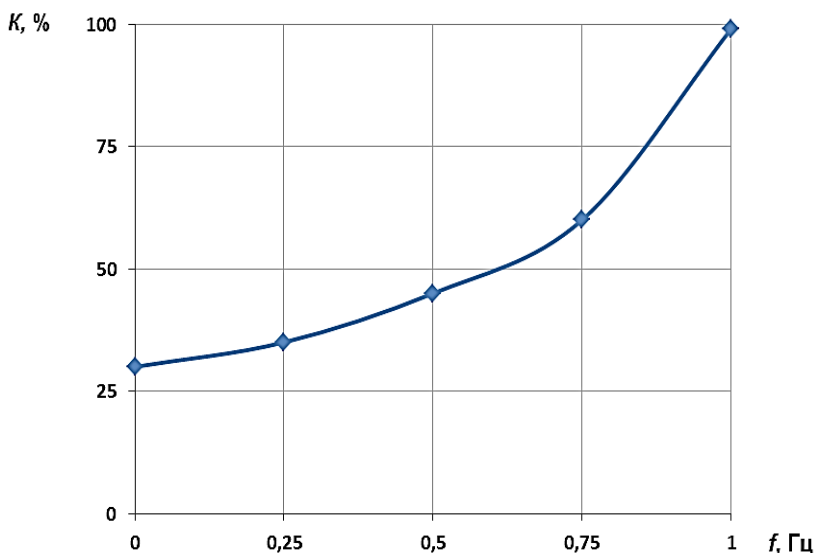


Рис. 3. Качество очистки в зависимости от частоты колебаний контейнера с деталями

Fig. 3. Cleaning quality depending on the vibration frequency of the container with parts

Выводы

1. Для интенсификации процесса очистки загрязненных деталей целесообразно применять турбулентный поток моющей жидкости, вызываемый колебаниями давления.

2. Экспериментально подтверждена зависимость эффективности очистки от скорости потока моющей жидкости: с увеличением частоты колебания давления от 0,25 до 1,0 Гц скорость потока жидкости возрастает в 3 раза; при увеличении частоты от 0 до 1,0 Гц эффективность очистки повышается в 2,5 раза.

Список источников

1. Петрик Д.Ю., Корнеев В.М., Петрик В.Ю. Интенсификация процесса очистки деталей в погружных моечных машинах // Агроинженерия. 2022. Т. 24, № 5. С. 73-77. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-5-73-77>
2. Петрик Д.Ю., Корнеев В.М., Петрик В.Ю. Определение оптимальных технологических параметров процесса очистки деталей в погружных моечных машинах // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 4. С. 81-84. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-4-81-84>
3. Петрик Д.Ю., Корнеев В.М., Петрик В.Ю. Факторы интенсификации процессов очистки деталей в погружных моечных машинах (на примере ультразвукового метода очистки) // Международный научно-исследовательский журнал. 2023. № 1 (127). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.127.24>
4. Корнеев В.М., Петрик Д.Ю. Исследование факторов интенсификации процессов очистки деталей в погружных моечных машинах // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки: Материалы XII Международной научно-практической конференции, Владикавказ, 8-10 декабря 2022 г. Владикавказ: «Веста», 2022. С. 24-28. EDN: IYMXGZ
5. Фадеев И.В., Степанова Е.И., Воронов В.П., Полищук С.Д. Анализ способов очистки и мойки поверхностей деталей в процессе ремонта агрегатов автотракторной техники // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2022. Т. 14, № 2. С. 183-192. <https://doi.org/10.36508/RSATU.2022.54.2.022>
6. Кравченко И.Н., Сливов А.Ф., Корнеев В.М., Катаев Ю.В. Очистка поверхностей деталей при их восстановлении // Сельский механизатор. 2019. № 8. С. 38-40. EDN: UTRAGQ
7. Дорохов А.С., Корнеев В.М., Катаев Ю.В. Теоретическая оценка механизма микроударного воздействия воды на нагароотложения в двигателях // Технический сервис машин. 2019. № 2. С. 67-74. EDN: MKXIAI
8. Шемякин А.В., Фадеев И.В., Юхин И.А., Степанова Е.И., Зюба В.В. Влияние активации раствора колебанием корзины с деталями в моечной установке на степень очистки деталей // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2023. Т. 15, № 1. С. 175-181. EDN: KWAMHU

Информация об авторах

- Виктор Михайлович Корнеев**¹, канд. техн. наук, доцент; tsmo@rgau-msha.ru
- Дмитрий Иванович Петровский**², канд. техн. наук, доцент; petrovsky@rgau-msha.ru
- Николай Викторович Корнеев**³, аспирант; swy16@mail.ru
- ^{1,2} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49
- ³ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, пр-д 1-й Институтский, 5

Вклад авторов

В.М. Корнеев – научное руководство, формулирование основных направлений исследований, формулировка общих выводов
 Д.И. Петровский – формулировка общих выводов, анализ литературы, обработка результатов исследований
 Н.В. Корнеев – обработка результатов исследований, подготовка рукописи

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат.

Статья поступила в редакцию 11.04.2024; поступила после рецензирования и доработки 28.05.2024; принята к публикации 03.06.2024.

References

1. Petrik D.Yu., Korneev V.M., Petrik V.Yu. Intensifying the process of cleaning parts in submersible washing machines. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2022;24(5):73-77. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-5-73-77>
2. Petrik D.Yu., Korneev V.M., Petrik V.Yu. Determining the optimum technological parameters of cleaning parts in submersible washing machines. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2023;25(4):81-84. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-4-81-84>
3. Petrik D.Yu., Korneev V.M., Petrik V.Yu. The factors of intensification of parts cleaning processes in submerged washing machines (on the example of ultrasonic cleaning method). *International Research Journal*. 2023;1(127). (In Russ.). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.127.24>
4. Korneev V.M., Petrik D.Yu. Investigation of intensification factors of cleaning processes of parts in submersible washing machines. *Molodye Uchenye v Reshenii Aktualnykh Problem Nauki: Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference, Vladikavkaz, December 8-10, 2022 Vladikavkaz: 'Vesta', 2022. Pp. 24-28. (In Russ.)*
5. Fadeev I.V., Stepanova E.I., Voronov V.P., Polishchuk S.D. Analysis of environmental cleaning and washing of affected parts in the process of repairing units of automotive and tractor equipment. *Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev*. 2022;14;2:183-192. (In Russ.). <https://doi.org/10.36508/RSATU.2022.54.2.022>
6. Kravchenko I.N., Slivov A.F., Korneev V.M., Kataev Yu.V. Cleaning surfaces of parts during their restoration, *Selskiy Mekhanizator*. 2019;8:38-40. (In Russ.)
7. Dorokhov A.S., Korneev V.M., Kataev Yu.V. Theoretical evaluation of the mechanism of microwave effects of water on cooling in engines. *Technical service of cars*. 2019;2:67-74. (In Russ.)
8. Shemyakin A.V., Fadeev I.V., Yukhin I.A., Stepanova E.I., Zyuba V.V. Influence of solution activation by oscillation of the basket with parts in the washing plant for the degree of cleaning of parts. *Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev*. 2023;15;1:175-181. (In Russ.)

Author Information

- Viktor M. Korneev**¹, CSc (Eng), Associate Professor; tsmo@rgau-msha.ru
- Dmitry I. Petrovskiy**², CSc (Eng), Associate Professor; petrovsky@rgau-msha.ru
- Nikolay V. Korneev**³, postgraduate student; swy16@mail.ru
- ^{1,2} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Russian Federation, Moscow, 49, Timiryazevskaya Str.
- ³ Federal Scientific Agroengineering Centre VIM; 109428, Russian Federation, Moscow, 5¹st Institutskiy Proezd Str.

Author Contribution

V.M. Korneev – research supervision, conceptualization, formulation of general conclusions.
 D.I. Petrovskiy – formulation of general conclusions, literature review, data curation, processing of research results
 N.V. Korneev – processing of research results, writing – original draft preparation

Conflict of interests

The authors declare that there is no conflict of interest and are responsible for plagiarism

Received 11.04.2024; Revised 28.05.2024; Accepted 03.06.2024.